

# Géologie de la Sierra de Atapuerca et stratigraphie des remplissages karstiques de Galería et Dolina (Burgos, Espagne)

Alfredo Pérez-González<sup>a\*</sup>, Josep María Parés<sup>b</sup>, Eudald Carbonell<sup>c</sup>, Trinidad Aleixandre<sup>d</sup>, Ana Isabel Ortega<sup>e</sup>, Alfonso Benito<sup>a</sup>, Miguel Ángel Martín Merino<sup>f</sup>

**Résumé** – L'anticlinal inversé de matériels mésozoïques de la Sierra de Atapuerca, de direction Ibérique NW-SE, représente géomorphologiquement un mont mis en place par des mouvements verticaux durant le Miocène et le Pliocène (?). C'est un système karstique de galeries, de 3000 m linéaires, qui s'est développé dans les calcaires, dolomites et marnes du Crétacé supérieur (Turonien-Santonien). Sur le flanc sud, une tranchée de chemin de fer abandonnée, a permis la découverte d'un nombre élevé de cavités comblées de dépôts d'intérieur de grottes et d'autres provenant de l'extérieur. Dans ce présent travail sont analysés les remplissages des gisements de Galería (TG) et de Dolina (TD), avec les faunes, flores et restes humains du Pléistocène moyen à Galería, et du Pléistocène inférieur (*Homo antecessor*) à Dolina, dans l'unité lithostratigraphique de TD6 (> 780 ka). Les données magnétostratigraphiques, les chronologies par les séries de l'Uranium-ESR et d'autres caractéristiques du remplissage indiquent que la sédimentation allochtone (TD3-4) a commencé il y a environ 1 million d'années. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**géologie / géomorphologie / karst / stratigraphie / Pléistocène / Atapuerca**

**Abstract** – **Geology of Sierra de Atapuerca and Stratigraphy of Karst Fillings from Galería and Dolina (Burgos, Spain).** The overturned anticlinal of the Sierra de Atapuerca, Iberic oriented NW-SE, represents on the geomorphological point of view, a mont put in place by vertical movements during the Miocene and Pliocene (?). It is a karst system of galleries of 3000 M long, which developed in limestones, dolomites and marls of Upper Cretaceous (Turonian-Santonian). On the south side, an abandoned railway trench allowed to discover a great number of cavities filled with interior cave deposits and others coming from outside. This work analyses the fillings of Galería (TG) and Dolina (TD), with faunas, floras and human remains (*Homo antecessor*) of the Middle Pleistocene at Galería and of the Lower Pleistocene at Dolina. In the lithostratigraphical unit of TD6 (> 780 Ka). The magnetostratigraphic data, the Uranium series/ESR chronologies and other characteristics of the filling indicate that the allocthonous sedimentation (TD3-4) began about 1 million years ago. © 2001 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**geology / geomorphology / karst / stratigraphy / Pleistocene / Atapuerca**

## 1. Introduction

La Sierra de Atapuerca est situé à 14-15 km à l'est de la ville de Burgos, dans une position géographique-géologique intermédiaire entre la Sierra de la Demanda, au sud et au sud-est, et les

Sierras de Ubierna, Peñahoradada ou Temiño au nord (*figure 1*). Du point de vue « physiographique », la Sierra de Atapuerca est située sur le « sous plateau » nord du Duero, en sa limite nord orientale. Elle forme ainsi la limite avec le bassin hydrographique de la rivière de l'Ebro

\* Correspondance et tirés à part. [alfredog@eucmax.sim.ucm.es](mailto:alfredog@eucmax.sim.ucm.es)

<sup>a</sup> Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Espagne.

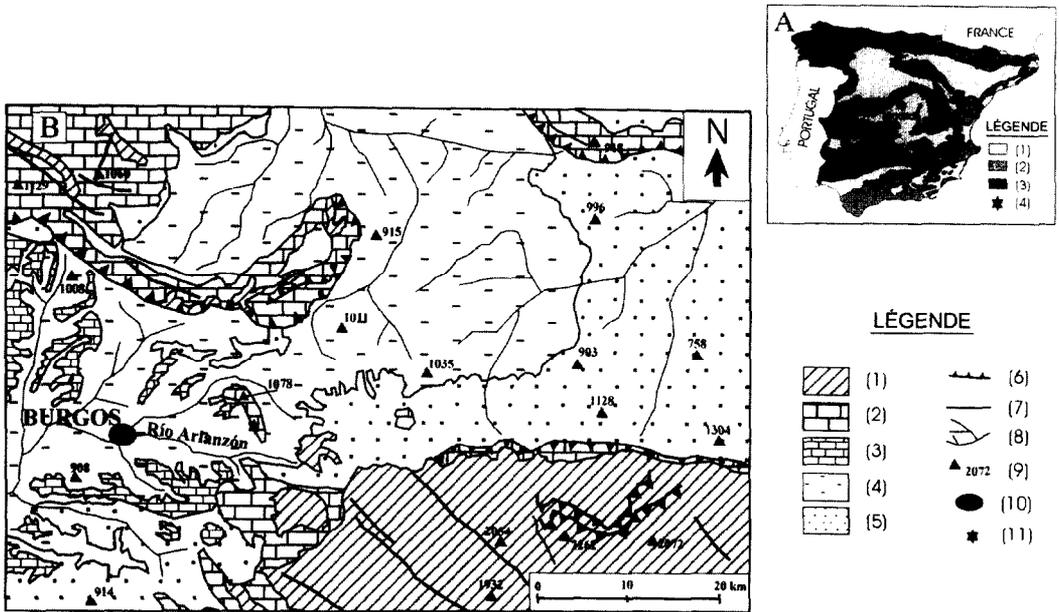
<sup>b</sup> Department of Geological Sciences, University of Michigan, 2534 C.C. Little Building, Ann Arbor, 48109-1063, États-Unis.

<sup>c</sup> Área de Prehistoria. Department de Historia i Geografia, Universitat Rovira i Virgili, Plaza Imperial Tarraco, 1, 43005 Tarragona, Espagne.

<sup>d</sup> Centro de Ciencias Medioambientales (C.S.I.C.), Serrano, 115 duplicado, 28050 Madrid, Espagne.

<sup>e</sup> Área de Paleontología, Departamento de Ciencias Históricas y Geografía. Facultad de Humanidades y Educación, Universidad de Burgos, Carretera Villadiego s/n, 09001 Burgos, Espagne.

<sup>f</sup> Grupo Edelweis, Servicio de Investigaciones Espeleológicas, Diputación de Burgos, 09071 Burgos, Espagne.



**Figure 1.** Localisation géologique-géographique des gisements archéologiques de la Sierra de Atapuerca (d'après Junta de Castilla y León, 1997).

**1A.** (1) Bassins tertiaires. (2) Cordillères alpines. (3) Massifs paléozoïques. (4) Gisements d'Atapuerca. **1B.** (1) Ardoises, quartzite et conglomérats du Paléozoïque de la Sierra de la Demanda. (2) Calcaires, dolomites et marnes du Mésozoïque de la Cordillère Cantabrique et rebord de la Sierra de la Demanda. (3) Calcaires lacustres. (4) Argiles, carbonates et gypse. (5) Conglomérats, grès et argiles des bassins tertiaires continentaux du Duero et du Corridor de la Bureba. (6) Chevauchement. (7) Faille. (8) Fleuve. (9) Altitude en mètre. (10) Centre urbain de Burgos. (11) Gisement de la Sierra de Atapuerca.

**Figure 1.** Geological and geographical location of the archaeological sites from Atapuerca (after Junta de Castilla y León, 1997).

**1A.** (1) Tertiary basins. (2) Alpine cordillera. (3) Palaeozoic massif. (4) Sites. **1B.** (1) Slates, quartzite and palaeozoic conglomerates from Sierra de la Demanda. (2) Mesozoic dolomites limestones and marls of Cantabric Cordillera and edge of Sierra de la Demanda. (3) Lacustrine limestones. (4) Clays, carbonates and gypsum. (5) Conglomerates, sandstones and clays from tertiary continental basins of Duero and Corridor de la Bureba. (6) Thrust. (7) Fault. (8) River. (9) Altitude in m. (10) City of Burgos. (11) Sites from Atapuerca.

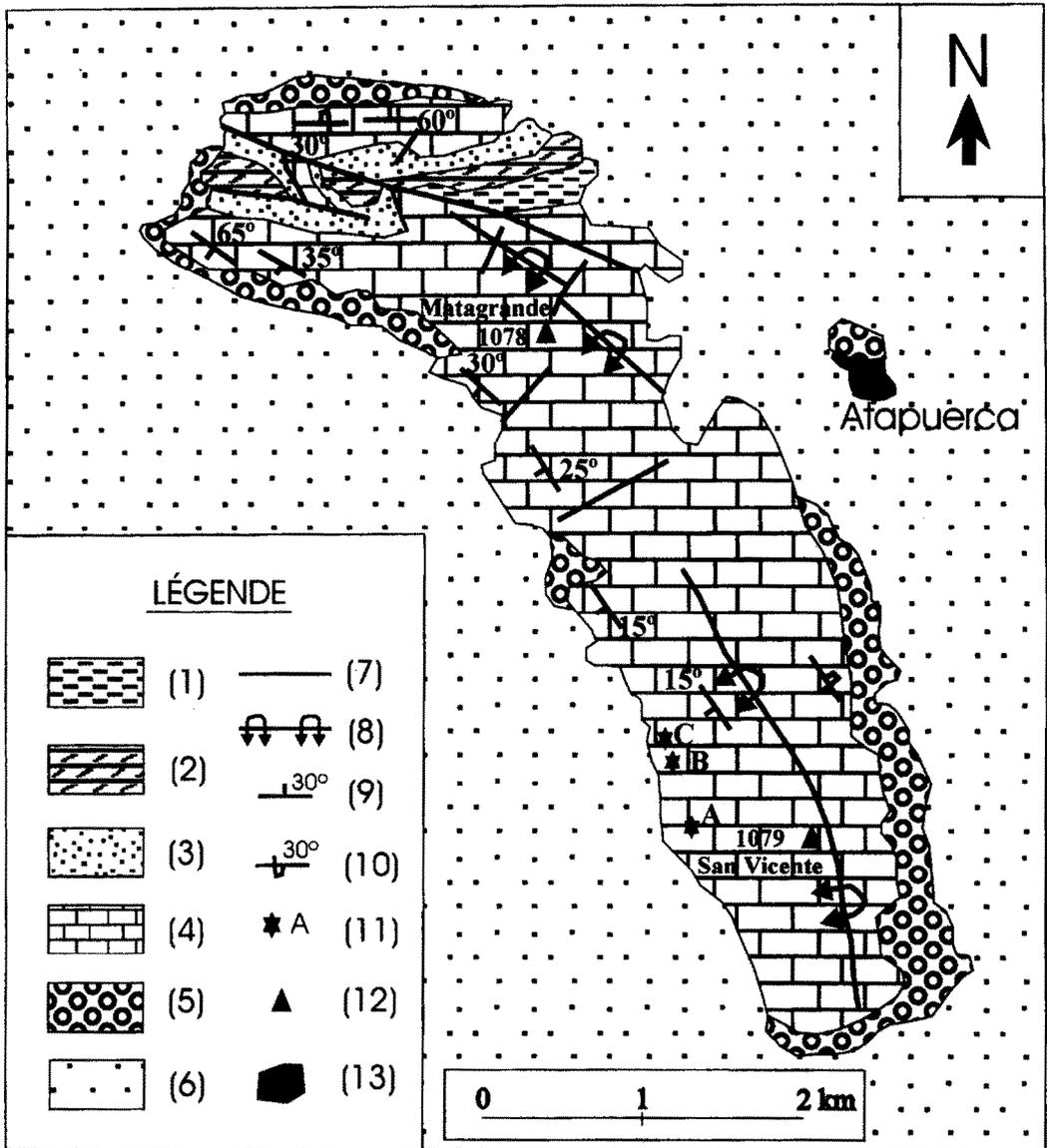
qui joint, à travers un sillon longitudinal EW (corridor de la Bureba), les vallées tertiaires du Duero et de l'Ebro.

Sur le versant sud de la Sierra de Atapuerca une tranchée de chemin de fer abandonnée a permis de découvrir et d'exposer aux intempéries, au moins 18 cavités avec des remplissages de sédiments d'intérieur et d'extérieur de grottes, les plus connus, sont ceux de Galería (TG) et de Dolina (TD), objets de ce présent article.

## 2. Le contexte géologique de la Sierra de Atapuerca

La cordillère mésozoïque calcaire de Atapuerca (Olivé et al., 1990 ; Pineda y Arce, 1997)

est un anticlinal de direction NNW-SSE, orienté, vers NE. Son flanc oriental inversé, qui présente un nucléus d'argiles rouges du Trias et des dolomites et des calcaires dolomitiques qui peuvent stratigraphiquement atteindre le Lias inférieur (*figure 2*). Ce noyau de l'anticlinal, qui est situé à son extrémité NW, est tourné en direction WNW-ESE, il est formé par des sables, des graviers et des conglomérats du Crétacé inférieur. Les formations plus modernes de l'anticlinal datent du Crétacé supérieur (Cénomanien à Turonien-Santonien) et sont constituées par des calcairentes, des calcaires, des calcaires marneux, des dolomites et des marnes. Dans ces matériaux où se développe le karst des gisements d'Atapuerca qui représentent, en particulier la partie supérieure (Turonien moyen-



**Figure 2.** Géologie de l'antiformal mésozoïque inversé de la Sierra de Atapuerca (d'après de Olivé et al., 1990 ; Pineda y Arce, 1997).

(1) Argiles rouges (Triassique). (2) Dolomites et calcaires dolomitiques (Trias supérieur-Liasique inférieur). (3) Sables, graviers et conglomérats (Crétacé inférieur). (4) Calcaires, marnes et dolomites (Cretacé supérieur). (5) Conglomérats (Paléogène). (6) Calcaires, marnes, argiles, gypses, graviers (Miocène + Quaternaire). (7) Faille. (8) Antiformal renversé. (9) Direction et inclinaison. (10) Direction et inclinaison inversé. (11) Gisements archéologiques : A, Cueva Mayor ; B, Galería ; C, Dolina. (12) Altitude en mètres. (13) Centre urbain.

**Figure 2.** Geology of the mesozoic reversed anticline of Sierra de Atapuerca (after de Olivé et al., 1990; Pineda y Arce, 1997).

(1) Red clays (Trias). (2) Dolomies and Dolomy limestones (Upper Trias-Lower Lias). (3) Sands, gravels and conglomerates (Upper Cretaceous). (4) Limestones, marls and dolomies (Upper Cretaceous). (5) Conglomerates (Paleogene). (6) Limestones, marls, clays, gypsum, gravels (Miocene + Quaternary). (7) Fault. (8) Overturned anticline. (9) Direction and slope. (10) Direction and reversed slope. (11) Archaeological sites: A, Cueva Mayor; B, Galería; C, Dolina. (12) Altitude in m. (13) City.

**Tableau I.** Analyse en pourcentages des éléments majoritaires de roches calcaires de Dolina et de Galería, par fluorescence de R.X. La perte par calcination (PPC) a été réalisée à 950 °C.

**Table I.** % analysis of limestones from Dolina and Galería by RX fluorescence. The loss by calcination was realised at 950 °C.

Echantillon	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	PPC
AP9801	0,26	0,34	0,034	56,20	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,329	0,037	0,040	42,75
AP9802	0,29	0,53	0,187	55,94	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,387	0,059	0,039	42,55
AP9803	0,29	0,90	0,026	55,71	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,318	0,069	0,038	42,65
AP9804	0,21	0,69	0,032	55,91	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,393	0,051	0,027	42,69
AP9805	1,06	1,05	0,268	54,00	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,801	0,047	0,041	42,71
AP9806	0,43	0,45	0,075	54,27	< 0,10	< 0,010	< 0,10	0,320	6,810	0,026	37,56

Santonien inférieur), une séquence de 45-70 m d'épaisseur de plate formes marines d'un cycle de dépôt transgressif-régressif.

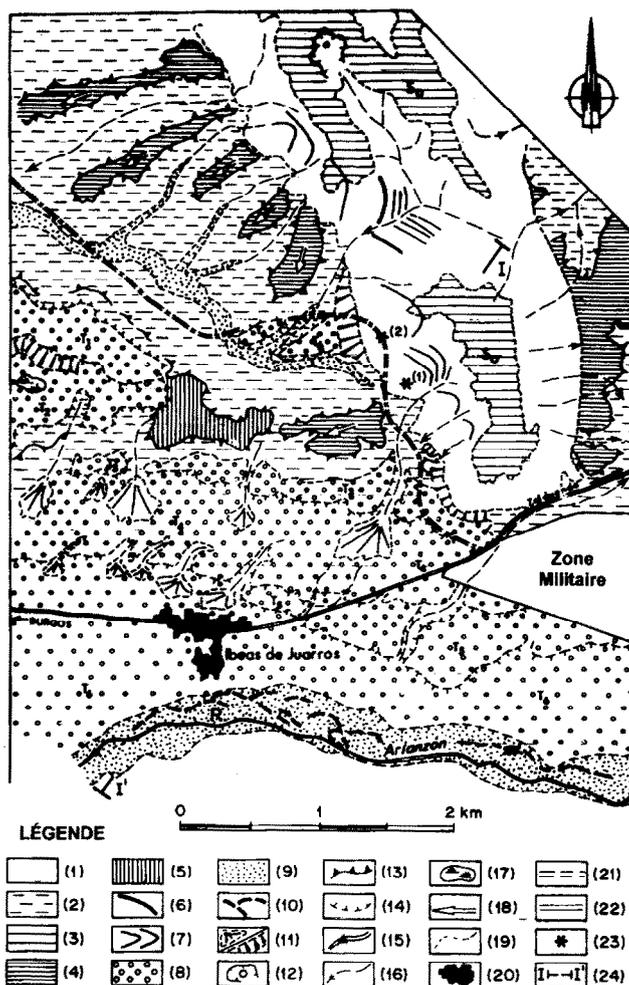
En analysant en détails les roches encaissantes mésozoïques de Dolina et de Galéria, on observe du point de vue pétrographique, tous les calcaires étudiés peuvent être classés comme *grainstone* bioclastiques ou l'on peut reconnaître des plaques d'échinodermes, de foraminifères benthiques micritiques, de fragments de lamellibranches et de gastéropodes. Les ciments sont formés de calcite et la porosité peut atteindre 12-15 %, les types d'inter-particule, intra-particule ou moldique sont des composants par dissolution. Un échantillon d'une seule couche de dolomite, avec un ciment de calcite, a été trouvé, au niveau du toit de la séquence carbonatée (échantillon AP9805). L'analyse des éléments majoritairement en oxydes (*tableau I*) indiquent des pourcentages importants en Oca, (entre 54 et 56 %), des valeurs très basses pour le reste des éléments (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.) et des pourcentages de perte par calcination entre 37 et 43 %.

Sur les limites calcaires de plate-forme et en discordance angulaire et érosive sont disposés, des conglomérats calcaires très bien cimentés par des carbonates calcaïques qui affleurent au nord et sur le flanc oriental de l'anticlinal de la Sierra de Atapuerca qui s'est différencié entant que relief positif par élévation verticale. Ces dépôts de conglomérats continentaux sont les faciès corrélatifs au démantèlement du pli anticlinal. L'âge de ces conglomérats continentaux, présentant des fois des plis et d'autres fois des failles, serait de l'Oligocène-Miocène inférieur (*figure 2*).

Le Tertiaire continental le plus récent et qui borde ou longe la Sierra de Atapuerca présente une séquence chronologique allant du Miocène inférieur au Miocène supérieur (Vallesien et Turolien) ; il est composé de marnes, gypses, des argiles à la base et des calcaires avec du silex et des marnes au sommet de la séquence. Ces composants du sommet donnent lieu à de grands plans structuraux et à des tables, puisque ces couches sont disposées d'une manière horizontale ou subhorizontale, si l'on fait exception des inclinaisons de quelques degrés (< 5-6°) des dépôts miocènes associés aux flancs de l'anticlinal d'Atapuerca. L'épaisseur qui affleure est de 80-100 m.

### 3. Le modèle de dissection quaternaire

Lors des paragraphes antérieurs l'on a écrit que le pli anticlinal, de la Sierra de Atapuerca, est un relief conforme ou un mont, rehaussé par des impulsions tectoniques verticales pendant des étapes successives, depuis l'Oligocène-Miocène inférieur jusqu'à très probablement le Pliocène. La cartographie géologique et géomorphologique des environs de la Sierra de Atapuerca, semble indiquer que celui-ci a été, en partie, un relief émergé, durant tout le Miocène et que son exhumation partielle aurait commencé seulement à la fin du Pliocène (*figure 3*). D'un point de vue géomorphologique, le processus érosif ancien le plus connu est une superficie d'érosion (So de Zazo et al., 1983, 1987) qui décapite la charnière de l'anticlinal d'Ata-

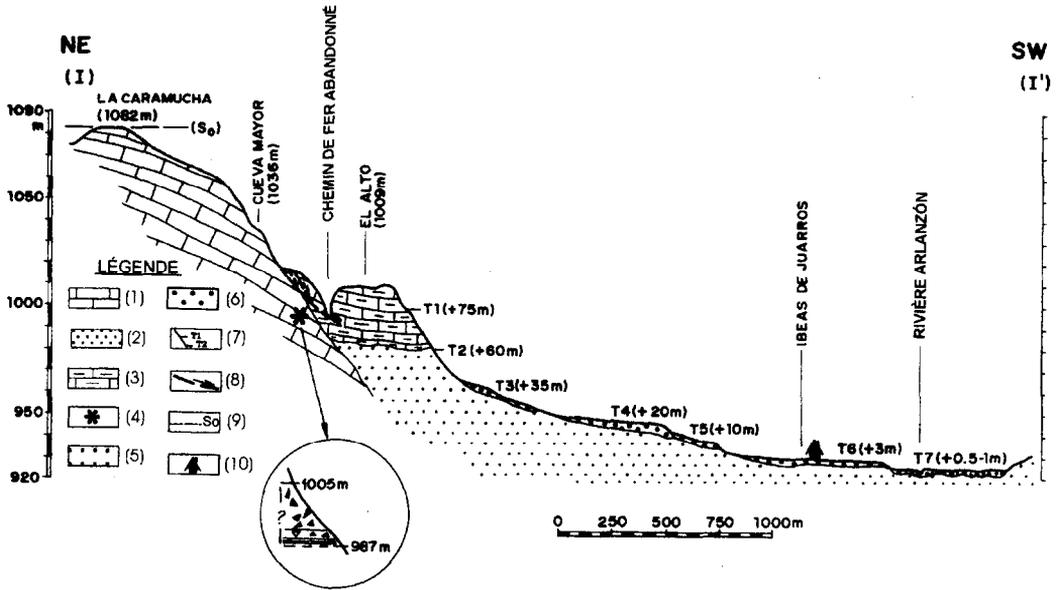


**Figure 3.** Géomorphologie du secteur méridional de la Sierra de Atapuerca et de la vallée du fleuve Arlanzón.

(1) Relief (*Mont*) de la Sierra de Atapuerca. (2) Néogène. (3) Superficie d'érosion tertiaire (*So*), à 1 082 m. (4) Superficie structurale en calcaire lacustres tertiaires d'El Alto, à 1 009 m. (5) Replat structural en silex et en calcaire lacustre miocène. (6) Saillie d'une couche de calcaire mésozoïque. (7) Trace d'une couche calcaire mésozoïque. (8) Terrasses de clasts en quartzite et en ardoises du fleuve Arlanzón (T1 à T6). (9) Plaine alluviale du fleuve Arlanzón et du fleuve Pico. (10) Cours d'eau abandonnés dans la plaine alluviale du fleuve Arlanzón. (11) Cônes d'alluvions et de colluvions. (12) Dolina ouverte et puisard. (13) Escarpement en couches calcaires miocènes. (14) Escarpement de bord de terrasse. (15) Cour d'eau de grand débit permanent du fleuve Arlanzón et la direction du flux. (16) Rigoles de fonctionnement saisonnier ou sporadique. (17) Lagune temporaire. (18) Basculement. (19) Contacte discordant. (20) Nucleus urbain. (21) Trace de la tranchée abandonnée du chemin de fer. (22) Route. (23) Entrée de la grotte Cueva Mayor (1) et gisements de Dolina et de Galeria (2). (24) Profil géomorphologique de la *figure 4*.

**Figure 3.** Geomorphology of southern area from Sierra de Atapuerca and Arlanzón river valley.

(1) Relief (*Mount*) of Sierra de Atapuerca. (2) Neogene. (3) Surface of tertiary erosion (*So*) at 1 082 m. (4) Structural surface in tertiary lacustrine limestones from El Alto at 1 009 m. (5) Structural bench, flint and miocene lacustrine limestone. (6) Spur of a mesozoic limestone level. (7) Trace of a mesozoic limestone-bed. (8) Clast terraces of quartzite and slates from Arlanzón River (T1 to T6). (9) Flood plain from Arlanzón and Pico rivers. (10) Alluvial and colluvial cones. (11) Alluvial and colluvial cones. (12) Opendoline and sewer. (13) Scarp of miocene limestone levels. (14) Scarp of the edge of terrace. (15) Perennial Arlanzón river and direction of the flow. (16) Sporadic or seasonal rills. (17) Temporary lake. (18) Tilting. (19) Unconformities. (20) City. (21) Trace of the abandoned railway. (22) Road. (23) Entrance of Cueva Mayor. (1) and Dolina and Galeria sites (2). (24) Geomorphological cross section of *figure 4*.



**Figure 4.** Section géomorphologique (I-I', figure 3) et contexte lithologique et morphostructural des gisements de Dolina, Galeria et Elefante (d'après de Parés y Pérez-González, 1999).

(1) Calcaires, dolomites et marnes du Crétacé supérieur. (2) Marnes, argiles et gypses du Miocène moyen (3) Calcaires avec du silex et des marnes du Miocène moyen-supérieur. (4) Projection de la section de Dolina avec la hauteur en mètres du toit et des murs. (5) Terrasses pléistocènes de graviers siliceux et de sables du fleuve Arlanzón. (6) Plaine alluviale de graviers et de limons-argiles (T7) du fleuve Arlanzón. (7) Projection des terrasses T1 et T2. (8) Faille. (9) Surface d'érosion tertiaire (So). (10) Centre urbain.

**Figure 4.** Geomorphological cross section (I-I', figure 3) and lithological and morphostructural context from Dolina, Galeria and Elefante (after Parés y Pérez González, 1999).

(1) Limestones, dolomies and marls of Upper Cretaceous. (2) Marls, clays and gypsum of Middle miocene. (3) Limestones with flint and marls from middle-upper Miocene. (4) Projection of Dolina's section with height in m of top and bottom. (5) Pleistocene terraces, siliceous limestones and sands from Arlanzón River. (6) Alluvial floodplain of gravels and clay loam. (7) Projection of terraces T1 and T2. (8) Fault. (9) Tertiary erosion surface (So). (10) City.

puerca, les conglomérats calcaires oligocènes sont les faciès résultants de ce processus.

La dissection fluviale est l'action du modelage caractéristique de la Sierra de Atapuerca. Le fleuve Arlanzón dont la source se retrouve dans les ardoises, les conglomérats et les grès paléozoïques des chaînons nord occidentaux de la Sierra de la Demanda, est le fleuve pérenne principal. Les autres fleuves coulent à son niveau de base. Ce fleuve dont le profil transversal d'Ibeas de Juarros (figure 4), a laissé un système de terrasses étagées avec des côtes relatives supérieur au lit du fleuve à : 0,5-1 m (plaine alluviale actuelle), + 3 m (T6, terrasse d'Ibeas de Juarros), + 10 m (T5), + 20 m (T4), + 35 m (T3), + 60 m (T2, La lagune) et + 75 m (T1, Escampa colina). Cette première terrasse, la plus haute et la plus ancienne conservée sur le profil géomorphologique d'Ibeas de Juarros,

se trouve à 994-1000 m de hauteur absolue, encaissée dans des calcaires lacustres du Miocène moyen-supérieur à 1 009 m d'El Alto, au même niveau que la terrasse T2, qui se situe au niveau inférieur des ces calcaires. Ce dispositif géomorphologique indique que le fleuve Arlanzón n'a jamais dépassé en superficie, vers le nord, le relief tabulaire d'El Alto (1 009 m), cela est également attesté par l'absence de graviers fluviaux au niveau de cette position dans le versant de la Sierra et dans les registres sédimentaires allochtones qui colmatent les cavités de la tranchée du chemin de fer (figure 4). Cependant, il faut signaler que des graviers siliceux fluviaux ont été localisés dans les grottes Cueva del Silo et Cueva y Peluda, à des cotes de 980 m, selon la topographie du Groupe Spéléologique Edelweis, réalisé en 1995 par M.A. Martín. Ces galeries sont situées au Nord de la

plate-forme calcaire d'El Alto. Il s'agit, dans ce cas, de perte de débit et de charge à travers d'un puisard du fleuve Arlanzón, liée aux terrasses du profil d'Ideas de Juarros. Bien que d'autres travaux supplémentaires soient nécessaires, il est probable que ces dépôts fluviaux sont chronologiquement liés à la terrasse T2 (la lagune), à plus de 60 m de la cote relative sur le niveau du lit du fleuve Arlanzón.

#### 4. Le karst de la Sierra de Atapuerca

À la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, Sampayo et Zuaznávar (1868), publient une topographie en détail de la grotte Cueva Mayor qui, avec les grottes Cueva del silo, Cueva del Compresor et la Cueva y Peluda font partie des cavernes du karst de la Sierra de Atapuerca (Martín Merino et al., 1981 ; Martín Merino, 1999) avec un développement de 3 000 m. La tranchée du chemin de fer a sectionné plusieurs conduits de remplissage, telle la Sima del Elefante (TE), reliée à la galerie basse (la grotte de Cueva Mayor), ou Gran Dolina et Galería, situés un peu plus au Nord, dont on ignore l'existence de connexion avec le système de galeries de Cueva Mayor. Les grottes Cueva del Silo et Cueva y Peluda, sont reliées par les systèmes fluviaux, probablement contemporains, retrouvés dans ces grottes. La Sima de los Huesos (SH), fait partie du système des cavités de Cueva Mayor.

Le karst de la Sierra de Atapuerca, est d'origine phréatique, il s'agit d'un karst couvert (Torres, 1976) dont la phase principale de développement coïncide (Zazo et al., 1983, 1987) avec la sédimentation des calcaires du páramo inférieure qui, bien qu'il soit d'une chronologie pas encore certaine, doit correspondre au Miocène supérieur (Vallesien). Pour les auteurs antérieurement cités, le système du karst d'Atapuerca serait de forme sénile, tout au moins depuis la terrasse située à plus de 60 m du fleuve Arlanzón (T2, dans le présent travail), c'est-à-dire depuis le dernier tiers du Pléistocène inférieur. Les directions et la vitesse de débit de l'eau ont été récemment étudiés (Eraso et al., 1998a, 1998b) à partir des traces de courants ou *scallop*. Ils ont été également liés aux prédictions des directions principales pour estimer leur degré de concordance, et l'on a constaté l'existence de directions de circulation d'eau

phréatique non influencée par le cours du fleuve Arlanzón. L'âge et les milieux sédimentaires des remplissages de Dolina, Galería et Elefante indiquent effectivement ce caractère sénile tardif, de condition vaseuse, bien qu'il y aient eu des réactivations partielles du karst en relation avec une disponibilité hydrique majeure, soit pour des changements climatiques soit pour des infiltrations du fleuve Arlanzón, lorsque son niveau de base, comme nous l'avons antérieurement signalé, était en des positions topographiques correspondantes aux terrasses T1 et T2.

#### 5. La stratigraphie des remplissages de Galería et de Dolina

Les remplissages des cavités de Galería et de Dolina (ou Gran Dolina) sont les plus connus de la tranchée du chemin de fer abandonné sur le flanc sud de la Sierra de Atapuerca. Il y a un autre remplissage important, il s'agit d'Elefante (voir l'article de Rosas et al., dans ce même volume). Mais il y a un bon nombre de cavités remplies, pas moins de 15, bien exposées sur les coupes de la tranchée. Il semble indispensable de réaliser dans un futur immédiat une première analyse stratigraphique de ces remplissages pour mieux comprendre l'évolution du karst d'Atapuerca.

En ce qui concerne les dépôts qui colmatent Galería et Dolina, des travaux antérieurs ont déjà établi la séquence générale verticale et de changement latéral (Gil et al., 1987, Hoyos et Aguirre, 1995, Pérez-González et al., 1995, 1999 ; Parés et Pérez-González, 1999). Récemment, Vallverdú (1996 et 1999) a publié des travaux intéressants sur les microfaciès et la micromorphologie des remplissages de Galería. L'ensemble de ces travaux et d'autres études réalisés durant les dernières campagnes de fouilles permettent d'établir les précisions suivantes sur la stratigraphie des remplissage et de leur origine.

Dans la tranchée du chemin de fer, différents types de remplissages de grotte ont été reconnus (Ford, 1976 ; Gillieson, 1996), dont ceux qui proviennent de l'extérieur (exogénétiques ou allochtone) qui prédominent sur ceux dérivant de processus internes (endogénétiques ou autochtones). Dans les deux cas l'évolution sédimentaire ou post sédimentaires pour causes naturelles (essivés, translocations de limons et

d'argile, altérations minérales, activité biologique, etc.) n'est pas excessivement significative, bien que les processus d'érosion sont très marqués, en particulier les *secondary unconformities* (Osborne, 1984) dans certains remplissages comme celui d'Elefante ouest.

## 6. Stratigraphie de Galería

Il s'agit du premier des remplissages karstiques fouillé de la Trinchera del Ferrocarril et qui offre aujourd'hui une bonne section verticale, où l'on peut étudier les dépôts (aussi connue sous le nom de Trinchera Galería, TG), et leurs relations (ou connexions) latérales et verticales (*figure 5*).

Cinq phases de remplissages peuvent être distinguées à Galería. Ils sont nommés de la base au sommet de la séquence : GI, GII, GIII, GIV et GV. En continuant vers le nord la grotte de los Zarpazos, l'on retrouve les unités lithostratigraphiques GI, GII et GIII, avec des caractéristiques très similaires à celles de Galería. La présence de GIV est douteuse et GV est absente de cette séquence.

À Galería, l'unité GI est formée par des faciès d'intérieur et, des unités GII à GV ce sont des faciès allochtones qui sont représentés.

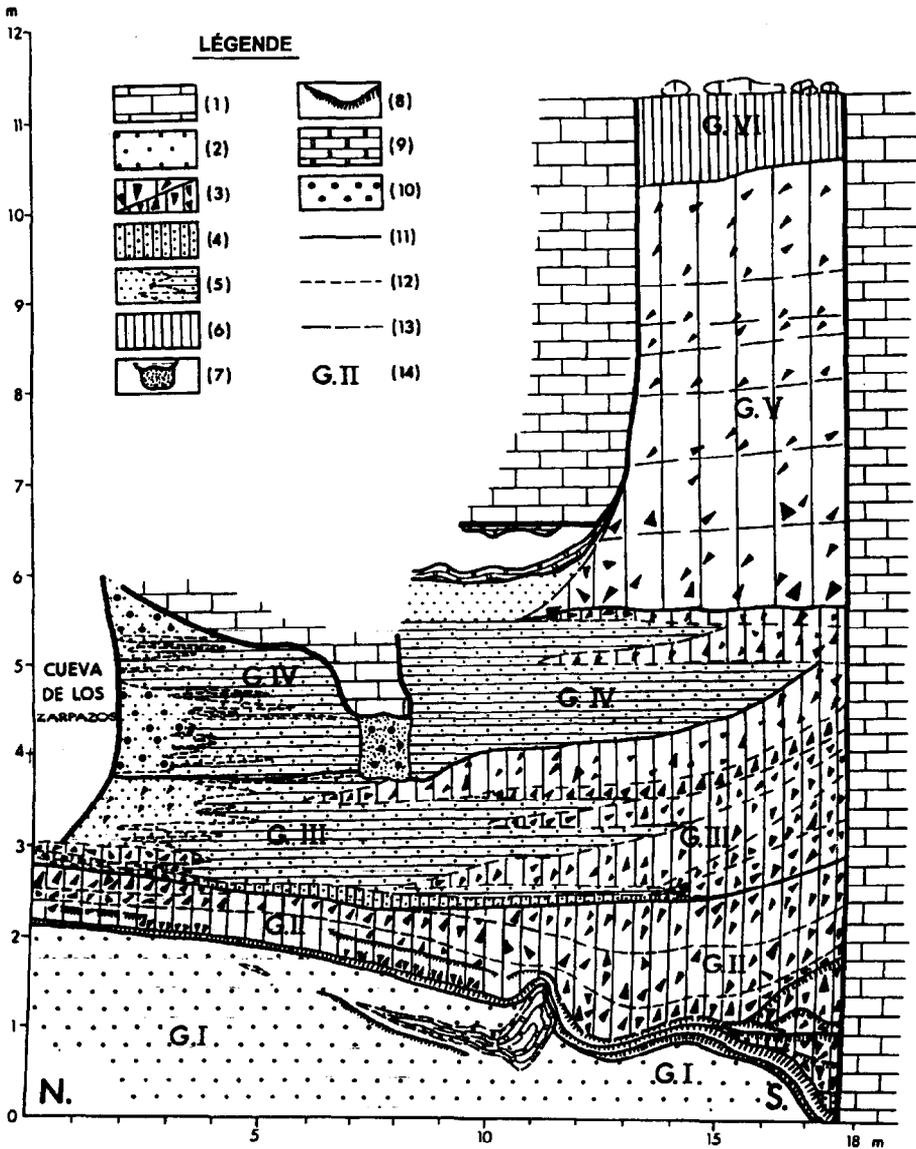
L'unité inférieure de Galería, GI, possède une épaisseur maximale de 5 m (*figures 5 et 6*). Il s'agit d'un niveau stratigraphiquement complexe avec de fortes variations latérales et verticales, des relations érosives et des discordances angulaires entre les couches. Les lithofaciès, dominants sont lutitico-gréseux et il y a aussi des spéléothèmes au mur et au toit. La limite Matuyama-Brunhes est présente au tiers supérieur de GI (*figure 6*), dans l'espace que représente un hiatus érosif entre deux strates. Les faciès présents à GI, sont laminés ou massifs, de couleur brun très pâle (10YR 7/4), brun (5YR), ou brun rougeâtre (7.5YR). Dans la partie basale de GI, l'on reconnaît des convolutées au niveau du contact entre les sables et lutites. Au sommet de cette unité, attribué à l'époque paléomagnétique Brunhes, il y a des couches bioturbées et de fins niveaux de guano de couleur sombre (10YR 8/4 ou 4/1).

La seconde unité de remplissage de Galería (GII), se dispose en discordance angulaire et érosive sur GI ; L'unité lithostratigraphique GII et celles qui suivent jusqu'à GV, sont des unités

clairement allochtones dont les points d'entrée se situent autant au nord qu'au sud (*figure 5*). Ce sont des faciès clastiques de la taille de gravier avec occasionnellement des blocs de chute de parois ou des toits des cavités, avec des matrices argilo-limoneuses de couleur rougeâtre (5YR 5/8). Si le milieu du dépôt de GI, est principalement hydrique, dans GII-GIII et dans GIV il peut-être du à des phénomènes de gravité ou hydrique, à GV par gravité. Enfin dans GVI, il s'agit de processus édaphiques.

À la base de GII, il s'agit, un faciès caractéristique, est composé de niveaux d'excréments de chauve-souris qui s'interstratifient avec des argiles brunes ou brun-rougeâtres (5YR 5/8), avec des épaisseurs qui peuvent atteindre 40 cm. La lixiviation acide des excréments de chauve-souris donne lieu à l'altération des clasts calcaires, avec une perte de volume, ce qui a entraîné des déformations ponctuelles par l'adaptation aux nouveaux vides engendrés. Dans la minéralogie des argiles apparaît également la crandalite (à la base de GII et de GI). Il s'agit d'un hydroxyde d'aluminium phosphaté originé par la réaction du calcaire, de l'aluminium contenu dans les argiles et les solutions phosphatées du guano (Goldberg et Nathan, 1975 ; Bögli, 1980 ; Hill et Forti, 1997).

Les relations structurelles et géométriques entre les différentes unités de remplissage de Galería s'établissent par des discontinuités érosives et angulaires dans le cas de GII-GIII (*figure 5*). La distribution des faciès clastiques est asymétrique. Un nombre élevé de *debris-flows*, pauvrement classifiés dans les fraction des argiles (< 10 %, habituellement) jusqu'à celle des graviers, et rarement dans la fraction des blocs, se situent dans le secteur sud de Galería, avec des géométries imbriquées de *talus cone*. Sur le côté nord, sont plutôt observées, les textures plus fines, limons et argiles et graviers fins (*paellas*), supportés entre eux, avec des laminations à des occasions internes et entrecroisés, d'une faible angulation et de structure type *scours* au toit d'échelle décimétrique qui, indiquent des courants mesurés plus ou moins perpendiculaires à la section nord-sud de Galería. A GIV, on observe une structure à échelle métrique de *cut and fill* ou *secondary unconformity* de Osborne (1984). GV est un remplissage clastique dû à un phénomène de gravité qui colmate la cavité sur laquelle, à son sommet, s'est développé un sol avec des hori-

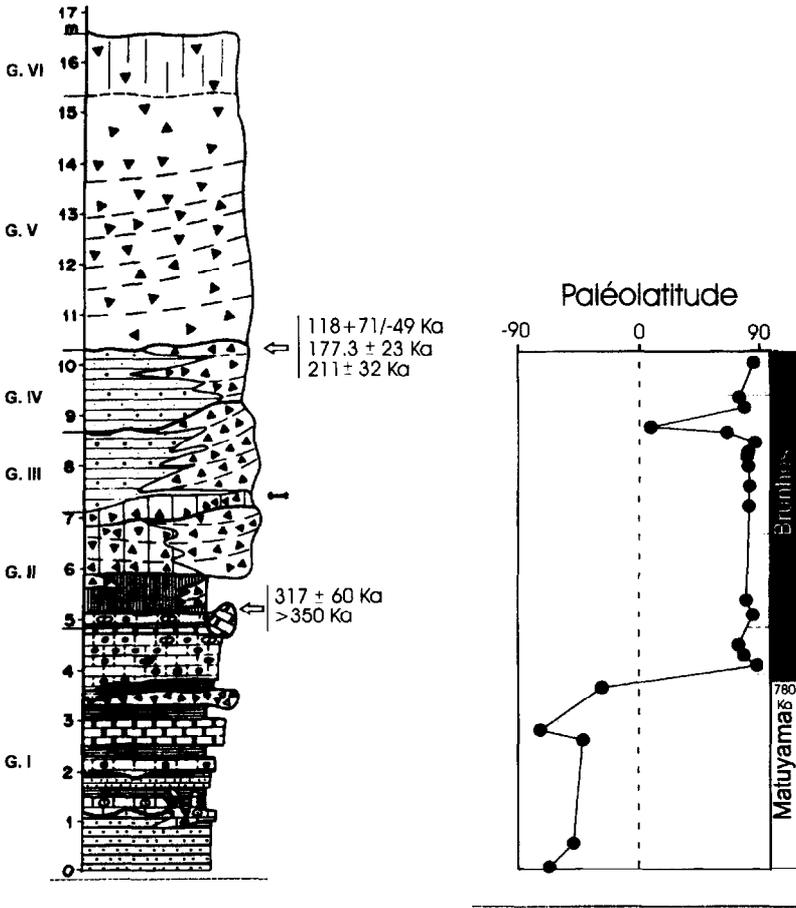


**Figure 5.** Séquence de colmatage de Galeria (TG) et lithologies caractéristiques.

(1) Calcaires, dolomites et marnes du Crétacé supérieur (parois de Galeria). (2) Argiles, limons, spéleothème et des sables très fins laminés ou massifs (faciès d'intérieur). (3) Gravieres et blocs calcaires anguleux-subanguleux, limons-argiles et petits graviers (dépôts par phénomène de gravité ou de lavage latéral). (4) Limons-argiles avec des clasts calcaires. (5) Petits graviers anguleux calcaires (*paellas*) avec des intercalations limon-argileuses au Nord de la section. (6) Formation édaphique. (7) Sillon rempli. (8) Dépôts de coprolithes de chauve-souris. (9) Spéleothèmes. (10) Nodules d'argiles cimentées. (11) Discordance. (12) Contact entre couches. (13) Stratigraphie supposée à GV. (14) Unités stratigraphiques (GI à GV) du remplissage et GV, sol).

**Figure 5.** Fill sequences of Galeria (TG) and characteristic lithologies.

(1) Limestones and marls from Upper Cretaceous (walls of Galeria). (2) Clays, loams, speleothems and very fine laminated sands or massifs (interior facies). (3) Gravels and limestone angular-subangular boulders, clay loam and small gravels (deposition by gravity or side leaching). (4) Clay loam with limestone clasts. (5) Small angular (*paellas*) with clay loam intercalations north of the section. (6) Edaphic formation. (7) Cut and fill. (8) Bats coproliths. (9) Speleothems. (10) Cemented clay nodules. (11) Unconformity. (12) Contact between layers. (13) Stratigraphy superposed to GV. (14) Stratigraphical units (GI to GV) of the filling and GV, soil.



Légende

- |  |     |  |     |  |     |  |      |
|--|-----|--|-----|--|-----|--|------|
|  | (1) |  | (4) |  | (7) |  | (10) |
|  | (2) |  | (5) |  | (8) |  | (11) |
|  | (3) |  | (6) |  | (9) |  | (12) |

**Figure 6.** Colonne stratigraphique synthétique de Galeria et des pôles virtuels géomagnétiques de paléolatitudes. La limite Matuyama-Brunhes est située dans le tiers supérieur de l'unité lithostratigraphique G1.

(1) Gravieres et blocs. (2) Alternance de petits graviers et limon-argile. (3) Gravieres et limon-argiles. (4) Guano et limon-argiles. (5) Sol. (6) Petits graviers. (7) Limon-argiles sableux avec des clasts d'argiles ou de carbonates. (8) Sables très fins et limons avec des structures laminaires. (9) Argiles sableuses avec des structures laminaires. (10) Spéléothème. (11) Discontinuités stratigraphiques majeures. (12) Reste crânien humain de la base de GIII (TG11), d'après Arsuaga et al., 1999.

**Figure 6.** Synthetic stratigraphical column of Galeria and geomagnetic virtual poles of paleolatitude. The Matuyama-Brunhes boundary is located in the upper third of unit G1.

(1) Gravels and boulders. (2) Alternance of small gravels and clay loam. (3) Gravels and clay loam. (4) Guano and clay loam. (5) Soil. (6) Small gravels. (7) Sandy clay loam with clay clasts or carbonates. (8) Very fine sands and loams with laminar structure. (9) Sandy clays with laminar structures. (10) Speleothem. (11) Main stratigraphical discontinuities. (12) Human cranial bone of base from GIII (TG11) according to Arsuaga et al., 1999.

zons A, Bt, Bk et Ckm, classifiés comme un *Petrocalcic Palexeralf*, en accord avec la *Soil Taxonomy*.

Au niveau de l'association minéralogique, les dépôts intérieurs (GI) se caractérisent par la fraction de moins de 2 microns d'ilite-crandalite, l'ilite étant majoritaire dans les phases suivantes du remplissage, à l'exception du mur de GII, où la crandalite est fortement présente. En ce qui concerne les minéraux lourds, la tourmaline et le zircon sont majoritaires dans toute la séquence, pendant que pour les minéraux légers, c'est le quartz qui est très majoritaire à GI, de GII à GV présentent une combinaison de quartz et de calcite.

## 7. Stratigraphie de Dolina

Les remplissages de Dolina ou Gran Dolina (TD) possèdent, comme à Galería, des lithofaciès d'intérieur à la partie basale (unités TD1 et TD2) et des lithofaciès allogéniques ou d'extérieur, depuis le niveau TD3-4 à celui de TD11 (*figures 7 et 8*), bien que certaines unités comme TD11, TD9 et TD 7 représentent des espaces temporels où l'influence de l'extérieur est limitée. Dans le reste des unités, la chute de blocs du toit et des parois de la cavité, peut être importante, comme c'est le cas à TD10.

Il faut indiquer que le terme Dolina n'est pas très approprié, puisqu'en réalité il s'agit d'une cavité colmatée par 18 m de sédiments, dans lesquels ont été identifiés 11 unités de remplissage (Gil et al., 1987 ; Hoyos et Aguirre, 1995 ; Parés et Pérez-González, 1998 ; Parés et Pérez-González, 1999). Parmi eux, les cinq premiers de (TD1 à TD5) ont leur colonne type sur le côté nord de la section Dolina (*figure 7*), la séquence lithostratigraphique sur le côté sud n'est pas corrélée avec l'autre secteur. Une paroi calcaire sépare une cavité de l'autre et, par exemple, les graviers et les blocs calcaires de chute de TD2, ne sont pas présents sur le côté sud. Dans les faciès d'extérieur au sommet de TD5, il est commun dans les deux secteurs, mais ce n'est pas le cas pour le reste des faciès TD3-4 et une bonne partie de TD5.

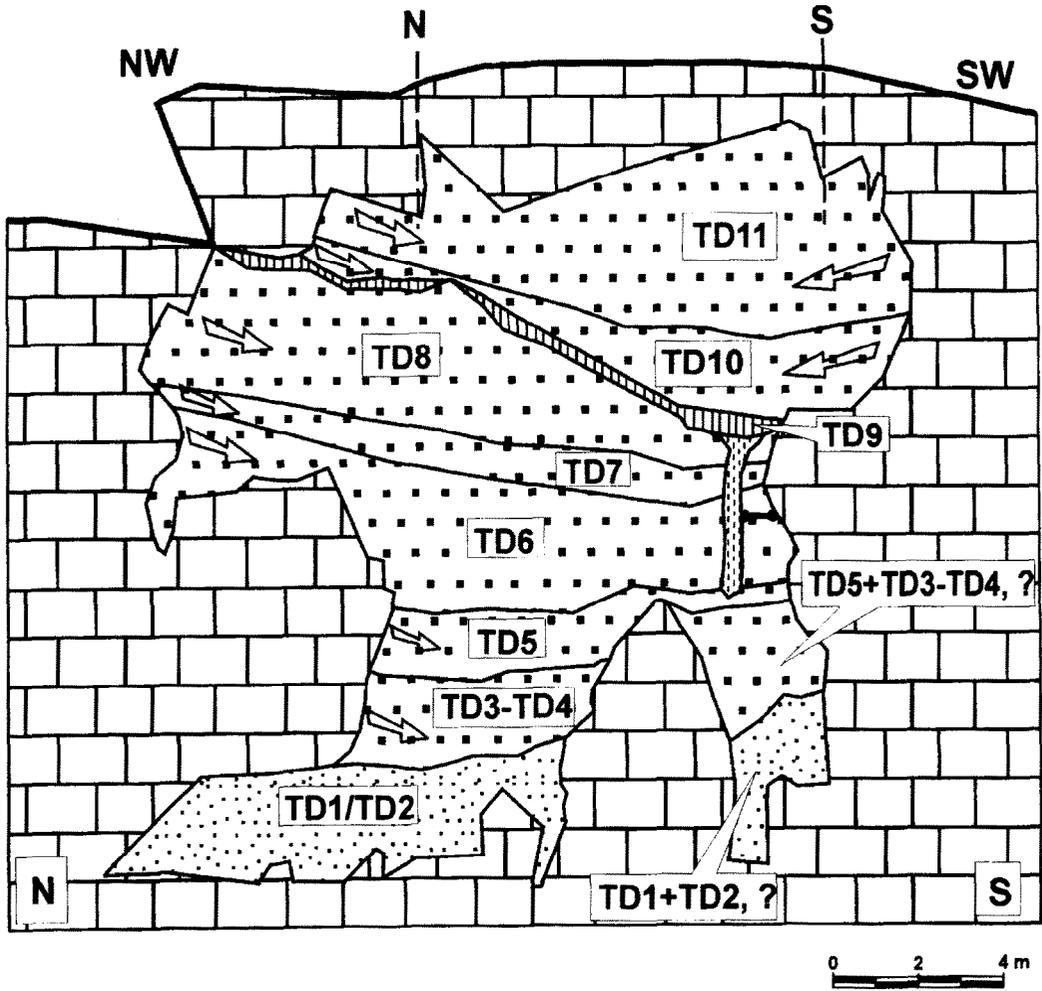
Les unités TD1 et TD2 sont stratigraphiquement les plus inférieures. TD1 est composé par des sédiments laminés d'argile et de boue de couleur brun sombre (7.5YR 5/6) ou rougeâtre jaunâtre (7.5YR 6/6), déposés sous des condi-

tions d'énergie très basse. TD2, est constituée par de grands blocs et par de graviers anguleux calcaires qui proviennent de la chute du toit ou des parois de la cavité. Ce faciès clastique est couvert d'un spéléothème, très érodé en son sommet et peut atteindre 60 cm d'épaisseur.

Les unités lithostratigraphiques supra-jacentes TD3-4 à TD6, formant au total 7 m, ont des faciès typiques d'extérieur provenant du nord. Depuis les points d'entrée, au nord et vers le sud, deux types de faciès sont visibles. L'un est composé de graviers et de quelques blocs avec une rare matrice (*clast-supported*). L'autre est constitué de lutites sableuses avec des clasts brun foncé (7.5YR 5/8) ou rougeâtre jaunâtre (5YR 5/6). Au sommet de TD6, est situé le Strate *Aurora* (Parés et Pérez-González, 1995) qui contient des artefacts et des restes d'hominidés (Carbonell et al., 1995) qui ont donné lieu à une nouvelle espèce *H. antecessor* (Bermúdez de Castro et al., 1997).

La Strate *Aurora* de 20 cm d'épaisseur a une texture majoritaire de lutites rouge-jaunâtres (5YR 5/6) avec des clastes calcaires de la taille de gravier. Son sommet est situé à 1 m du chron normal Brunhes (*figure 8*), avec une chronologie alors supérieur à 780 ka. TD7, l'unité suivante, est formée par des calcarénites avec des stratification croisées de faible angulation et des brèches de la taille des graviers. Au sommet est localisé la limite Matuyama-Brunhes. TD8 est une unité de 3 m d'épaisseur maximale dans le secteur nord de TD, constituée par des *debris-flow* de graviers et de blocs presque sans matrice et un subfaciès de lutites (5YR 6/6). À 40-50 cm du toit de cette unité les micromammifères *Mimomis savini* disparaissent, pour laisser la place à *Iberomys brecciensis* (Carbonell et al., 1995 ; Cuenca-Bescós et al., 1999).

L'unité stratigraphique TD9 est un niveau mince de 40 cm formé par des excréments de chauve-souris au sommet de couleur gris foncé (10YR 3/1) avec des limons-argiles grumeleux, elle est, à la base bioturbée, avec des sables majoritaires dans la fraction 0,5-2 mm, une couleur jaunâtre-rougeâtre (5YR 6/6). Ces couches couvrent au secteur sud de la section de Dolina (*figure 7*), un tube vertical de section plus ou moins ellipsoïdal, colmaté, par des dépôts limon-argileux, avec une fraction sableuse qui atteint presque les 50 % du total. Massifs ces dépôts sont de couleur jaune-rougeâtre (7.5YR 6/6). Cette *secondary unconformity* (Osborne,



**LÉGENDE**

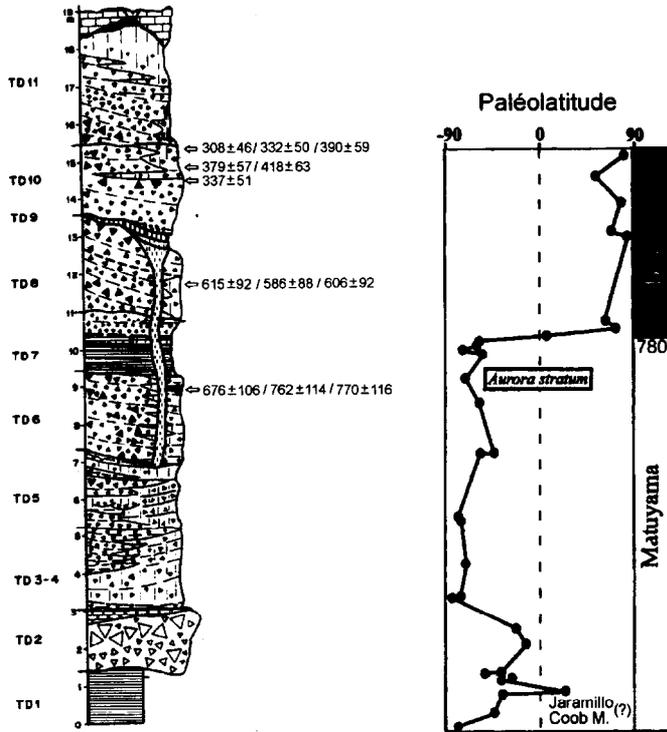
- |   |     |   |     |   |     |
|---|-----|---|-----|---|-----|
|  | (1) |  | (2) |  | (3) |
|  | (4) |  | (5) |  | (6) |

**Figure 7.** Relevé N-S de la cavité de Dolina avec les différentes unités lithostratigraphiques de remplissage. À noter, dans la partie basale de la section sud de Dolina, la corrélation de remplissage avec la séquence type de la section nord n'est pas évidente (explication dans le texte).

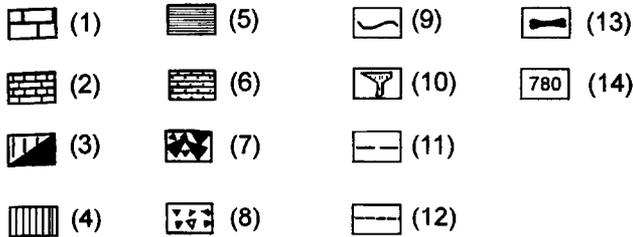
(1) Calcaire mésozoïque. (2) Faciès d'intérieur. (3) Faciès d'entrée. (4) Dépôts de guano et discordance secondaire colmatée par des limons-argiles massifs. (5) Strate Aurora avec des artefacts lithiques et des restes d'*H. antecessor*. (6) Directions d'entrée de flux détritiques de phénomène de gravité.

**Figure 7.** N-S. survey of Dolina cave with different lithostratigraphical units of filling. Note that in the basal part of south section, the filling correlation with the type sequence of north section is not evident (explanation in text).

(1) Mesozoic limestone. (2) Interior facies. (3) Entrance facies. (4) Guano and secondary unconformity filled with clay loam massif. (5) Aurora stratum with lithic artefacts and remains of *H. antecessor*. (6) Directions of entrance from detrital flows of gravity phenomena.



### Légende



**Figure 8.** Section stratigraphique de Dolina et pôles virtuels géomagnétiques de paléoahtitude. Le pôle virtuel géomagnétique de la base de la section pourrait correspondre au sub chron Jaramillo ou à Coob M. (selon Pares y Pérez-González, 1999). Les chronologies numériques à droite de la colonne stratigraphique sont des datations par la méthode US-ESR, voir Falguères et al., 1999.

(1) Calcaire mésozoïque du toit de Dolina. (2) Spéléothème. (3) Lutites, limons-argiles/Terra-rossa. (4) Guano de chauve-souris. (5) Limons-argiles laminés. (6) Calcilutites ou calcoarénites. (7) Flux clastiques de graviers et de blocs. (8) Dépôts de chute de blocs. (9) Discontinuités stratigraphiques majeures (10) Discordance secondaire et remplissage limo-argilo-sableux. (11) Limite Matuyama-Brunhes. (12) Disparition de *M. Savini* et première présence de *I. Brecciensis*. (13) Localisation de la Strate Aurora au sommet de TD6. (14) Âge en milliers d'années.

**Figure 8.** Stratigraphical section of Dolina and virtual geomagnetic poles of palaeoaltitude. The virtual geomagnetic pole of the base of the section could correspond to Jaramillo subchron or to Coob M. (after Pares y Perez Gonzalez, 1999). The numbers at the right of the stratigraphical column are US/ESR datings (Falguères et al., 1999).

(1) Mesozoic limestone from Dolina roof. (2) Speleothem. (3) Lutites, clay loam/Terra rossa. (4) Guano of bats. (5) Laminated loamy clays. (6) Calcilutites and calcarenites. (7) Gravels and boulders clastic flow. (8) Deposition of fallen boulders. (9) Main stratigraphical discontinuity. (10) Secondary unconformity and loamy-clayey-sandy filling. (11) Matuyama-Brunhes boundary. (12) Disparition of *M. savini* and first occurrence of *I. brecciensis*. (13) Location of Aurora stratum at the top of TD6. (14) Age in thousands of years.

1984) possède un diamètre de 3 m dans sa partie supérieure et de 1 m à sa partie basale. Ce conduit vertical excavé et rempli de sédiments dans des conditions vaseuses, atteint le sommet de TD5 (figures 7 et 8). L'unité suivante pouvant atteindre 3 m dans le secteur central de la section de Dolina, est TD10, et représente clairement un moment d'ouverture vers l'extérieur, avec des débris de graviers hétérométriques et angulaires, des boues rougeâtres-jaunâtres (5YR 5/8) et des blocs métriques d'effondrement des parois de la cavité. Les couches supérieures de TD10 sont expansives sur les couches inférieures, et les points d'entrée se produisent au Nord et au Sud de la section.

Enfin, la cavité se colmate avec les dépôts de TD11, dans lesquels on reconnaît aussi deux directions d'apports clastiques, par le nord et par le sud, et des faciès centraux de petits graviers (*paellas*) organisés avec des structures internes de courants et de boues (7.5YR 6/6). Des dépôts de *terra-rossa* résiduelle (2.5Y 4/6) remplissent les ouvertures et le diaclases de calcaires du toit de Gran Dolina (TD). En ce qui concerne la composition minéralogique de la fraction d'argile (< 2 microns), les composants minéraux dominants sont, à TD1, TD2 et TD11 l'illite-smectique et, dans le reste des unités lithostratigraphique de Dolina, c'est l'illite qui devient majoritaire. En ce qui concerne les minéraux lourds c'est l'association tourmaline-zircon qui domine, dans toute la section. Les minéraux légers sont dominés par le quartz et les carbonates. En ce qui concerne les faciès minéralogiques des remplissages karstiques de la Sierra de Atapuerca, en synthèse (Aleixandre et Pérez-González, 1999) on peut dire que les associations minéralogiques ont une source d'origine commune primaire de roches acides, basiques et métamorphiques, où s'est produite une forte altération qui a éliminé presque complètement les minéraux instables. Dans les remplissages l'association minéralogique est homogène, dominée par la tourmaline et le zircon. Les minéraux accompagnants sont la rutile et la staurolite. Pour les minéraux légers les quartz-carbonates indiquent un lessivage peu intense propre à un milieu méditerranéen.

## 8. Approximation chronologique et corrélation de Galería et de Dolina

Depuis la perspective des différentes étapes du remplissage, des faciès déposés, des chrono-

logies numériques disponibles et de la magnétostratigraphie réalisée, on peut établir un cadre provisionnel chronologique et de corrélation entre les distinctes unités lithostratigraphiques reconnues à Dolina et à Galería.

En premier lieu, il convient de préciser que la relation entre Dolina et Galería n'est pas du tout évidente, par les caractéristiques de la lithologie, la texture, les couleurs ou le milieu de dépôt. Il n'est pas non plus possible d'établir une ligne de corrélation temporelle entre les toits des dépôts d'intérieur de Galería et de Dolina, puisque la limite Matuyama-Brunhes (780 ka) se trouve dans le tiers supérieur de GI à Galería et au toit de TD7 à Dolina (figures 6 et 8). Cela signifie aussi, que l'ouverture définitive à l'extérieur de Galería s'est produite après celle de Dolina. Les données chronologiques disponibles (Aguirre, 1999, tabl. 1, p. 28) de Galería indiquent que la base de GII possède un âge approximatif de 300-350 ka (US et ESR), pendant que le sommet de GIV peut être aux environs de 200 ka (ESR). Avec ces dates, l'unité lithostratigraphique GII de Galería, serait contemporaine ou un peu plus jeune que TD10, si l'on prend en compte les âges proposés par Falguères et al. (1999), pour le sommet de TD10 aux environs de 350 ka (US et ESR). À Dolina, à TD1 (figure 8), Parés et Pérez-González (1995, 1999), interprètent une polarité positive comme appartenant au sub chron Jaramillo (990 ka), mais il est aussi possible que vu les tares sédimentaires dans le tiers supérieur de Dolina (aprox. 10 mm/10<sup>3</sup> ans) et l'important hiatus entre TD2 et TD3-4, cette polarité positive correspond à Coob Mountain (1 201 ka). Ainsi le registre sédimentaire de faciès allogéniques à Dolina pourrait avoir commencé il y a 1 million d'années.

## 9. Conclusions

L'importance du registre sédimentaire, les restes de faunes et archéologiques et les restes humains dans les différentes cavités karstiques colmatées de la Sierra de Atapuerca, pour la connaissance du Quaternaire du sud de l'Europe, est insoupçonnable. De très récentes synthèses (Rosas et al., 1999 ; Bermúdez de Castro et al., 1999) de Galería et de Dolina, apportent des analyses multidisciplinaires détaillées sur la paléoécologie et la relation des hominidés avec

le milieu. Depuis la perspective de cet article, on peut conclure qu'il existe, à Galería comme à Dolina, deux milieux sédimentaires bien différenciés par leurs faciès qui occupent toujours des positions basales caractéristique de faciès d'intérieur de grotte fermées et un autre de faciès allochtones ou de provenance de l'extérieur, organisé en flux de débris, très souvent avec des clasts supportés. Cependant, dans ces faciès d'extérieur on reconnaît des graviers et des blocs du toit ou des parois des cavités. Ces faciès de gravité sont liés latéralement et verticalement avec des faciès organisés par des courants hydriques avec une capacité de transport, en plus des éléments fins, de graviers et donnent lieu à des structures érodées. Les associations de faunes et la présence d'artefacts lithiques, se retrouvent à Galería dans les unités GII et GIII et à Dolina dans toute la section stratigraphique à l'exception de TD9 et TD11. Il n'y a pas de traces de faunes ou de flores à l'unité GI de Galería et dans les niveaux TD1 et TD2 de Dolina

Les relations verticales entre les différentes unités lithostratigraphiques ont été différenciées sur la base de multiples critères (textures, géométries internes des dépôts, milieu sédimentaire, discordances érosives ou angulaires, etc.), mais on méconnaît l'espace temporel qui les comprend et, donc, la valeur chronologiques des discontinuités majeures qui les séparent. Quelques-uns de ces hiatus peuvent représenter des dizaines de milliers d'années, comme l'exemple cité TD2/TD3-4 à Dolina et dans cette même section entre TD8/TD9. À Galería, par exemple, il semble qu'il y ait une plus grande continuité de dépôt entre les unités lithostratigraphiques de GII, GIII et GV. Tout ceci indique qu'il existe une grande difficulté pour corrélérer les différentes unités lithostratigraphiques avec les stades isotopiques de l'oxygène. Une approximation est possible pour les unités de Galería GII, GIII et GIV, avec la corrélation avec les épisodes allant de 10/9 au 7, et pour les unités TD6 à TD10 à Dolina, qui peuvent correspondre aux stades isotopiques 19 à 9. L'événement de polarité normale à TD1, correspondrait au stade isotopique 27/31 ou 35/36.

L'interprétation climatique à partir des caractéristiques de la sédimentation et des processus internes post-dépôt (Pérez-González et al., 1995 ; Pérez-González et al., 1999 ; Aguirre, 1999 ;

Vallverdu, 1996, 1999 ; Aleixandre et Pérez-González, 1999) suggèrent que les mécanismes d'entrée dans les cavités Galería et Gran Dolina et les actions d'altération et de lavage post sédimentaires correspondent à un climat méditerranéen proche de l'actuel. Les données de la flore (García Antón, 1991, 1995, 1999) et celles des faunes signalent la même chose, Rosas et al. (1999) ajoutant, malgré la grande stabilité des communautés de micromammifères, à Galería l'existence de fluctuations humides, déduite par les différentes proportions de faunes retrouvés dans le registre sédimentaires et d'autres indications des phases de remplissage.

## Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la financer DGICYT, du projet n° PB96-1026-CD3-D3. Les fouilles ont été financées par la Junta de Castilla y León. Le relevé topographique a été réalisé par Raquel Pérez Martínez et Eva Díaz Santana, avec la collaboration de Fortunato Gracias, également, aux amis et compagnons du sondage stratigraphique de Dolina. À Juana Vegas Salamanca pour ses analyses pétrographiques à Instituto Tecnológico Geominero d'Espagne pour les analyses des oxydes de roches calcaires.

*Traduit de l'espagnol*

*Par Miassa Aimene*

## Références

- Aguirre, E., 1998. El proyecto Atapuerca. Propósito, estrategia y primeros resultados. In : Aguirre, E. (Ed.), Atapuerca y la evolución humana 99, Fundación Ramón Areces, Madrid, pp. 15-48.
- Aleixandre, T., Pérez-González, A., 1999. Facies mineralógicas de las arenas de los rellenos kársticos de la Sierra de Atapuerca (Burgos). In : Andreo, B., Carrasco, F., Durán, J.J. (Eds.), Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico, Patronato de la Cueva de Nerja, Nerja, Málaga, pp. 231-242.
- Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E., Rosas, A., Martínez, I., Mosquera, M., 1997. A Hominid from the lower Pleistocene of Atapuerca, Spain: posible ancestor to Neander-

- tals and modern humans. *Science* 276, 1392-1395.
- Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Cáceres, I., Díez, J.C., Fernández-Jalvo, Y., Mosquera, M., Ollé, A., Rodríguez, J., Rodríguez, X.P., Rosas, A., Rosell, J., Sala, R., Vergés, J.M., Van der Made, J., 1999. The TD6 (Aurora stratum) hominid site. Final remarks and new question. *Journal of Human Evolution* 37, (2) 695-700.
- Bögli, A., 1980. *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Díez, J.C., Rosas, A., Cuenca-Bescós, G., Sala, R., Mosquera, M., Rodríguez, X.P., 1995. Lower Pleistocene Hominids and artifacts from Atapuerca TD-6 (Spain). *Science* 269, 826-830.
- Cuenca-Bescós, G., Laplana, C., Canudo, J.I., 1999. Biochronological implications of the Arvicolidae (Rodentia, Mammalia) from the lower Pleistocene hominid-bearing level of Trinchera Dolina 6 (TD6, Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 37 (2), 353-374.
- Eraso, A., Domínguez, M.C., Ortega, A.I., Martín Merino, M.A., Gavilán, C.J., Paredes, C., Gallego, N., Giralt, S., 1998a. Ley de distribución de planos de debilidad en la Sierra de Atapuerca (Burgos): aplicación al drenaje del Karst. *Geogaceta* 23, 43-46.
- Eraso, A., Domínguez, M.C., Pérez-González, A., Martín Merino, M.A., Ortega, A.I., 1998b. Estimación de las paleovelocidades y sentidos de circulación del agua en el karst donde se emplaza el yacimiento arqueológico de la Sierra de Atapuerca (Burgos). *Geogaceta* 23, 39-42.
- Falguères, C., Bahain, J.J., Yokohama, Y., Arsuaga, J.L., Bermúdez de Castro, J.M., Carbonell, E., Bischoff, J.L., Dolo, J.M., 1999. Earliest humans in Europe: the age of TD6 Gran Dolina, Atapuerca, Spain. *Journal of Human Evolution* 37 (3-4), 343-352.
- Ford, T.D., 1976. The geology of caves. In : Ford, T.D., Culling Ford, C.H.D. (Eds). *The science of speleology*, Academic Press, Londres, pp. 11-60.
- García Antón, M., 1999. Análisis polínico de las unidades GIII y GIV del yacimiento mesopleistoceno de Galería, Sierra de Atapuerca. In : Carbonell, E., Rosas, A., Díez Fernández Lomana, J.C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, Valladolid, pp. 135-142.
- García-Antón, M., 1995. Paleovegetación del Pleistoceno medio de Atapuerca a través del análisis polínico. In : Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E. (Eds.), *Evolución humana en Europa y los yacimientos de la Sierra de Atapuerca*, Junta de Castilla y León, Valladolid, pp. 147-166.
- García-Antón, M., Sainz-Ollero, H., 1991. Pollen records the middle Pleistocene Atapuerca site (Burgos, Spain). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 85, 199-206.
- Gil, E., Aguirre, E., Hoyos, M., 1987. Contexto estratigráfico. In : Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M. (Eds.), *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca*, Valladolid, Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Bienestar Social, pp. 47-45.
- Gillieson, D., 1996. *Caves: Processes, development and management*. Blackwell, Oxford.
- Goldberg, P.S., Nathan, Y., 1975. The phosphate mineralogy of the Tabun cave, Mount Carmel, Israel. *Mineralogical Magazine* 40, 235-258.
- Hill, C., Forti, P., 1997. *Cave minerals of the world*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama.
- Hoyos, M., Aguirre, E., 1995. El registro paleoclimático pleistoceno en la evolución del karst de Atapuerca (Burgos): el corte de Gran Dolina. *Trabajos de Prehistoria* 52, 31-45.
- Junta de Castilla y León, 1997. *Mapa geológico y minero de Castilla y León, escala 1/400 000*, Junta de Castilla y León-SIEMCALSA, Valladolid.
- Martín Merino, M.A., 1999. *Topografía espeleológica en Atapuerca*, 9 p. II Jornadas Científicas de la SEDECK, Burgos, juillet, 1999.
- Martín Merino, M.A., Domingo Mena, S., Antón Palacios, T., 1981. Estudio de las cavidades de la zona BU-IV.A (Sierra de Atapuerca). *Kaite, Estudios de Espeleología Burgalesa* 2, 41-76.
- Olivé, A., Ramírez Merino, J.L., Ortega, L.I., 1990. *Mapa Geológico de España a escala 1/50 000 (Belorado, 201)*, ITGE, Madrid.
- Osborne, R.A.L., 1984. Lateral facies changes, unconformities and stratigraphic reversals: their significance for cave sediment stratigraphy. *Transactions British Cave Research Association* 11 (3), 175-184.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., 1995. Paleomagnetic age for hominid fossils at Atapuerca Archaeological site, Spain. *Science* 269, 830-832.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., 1998. Contexto estratigráfico y cronológico de Gran Dolina (Yaci-

- miento de Atapuerca). In : Aguirre, E. (Ed.), *Atapuerca y la evolución humana*, Fundación Ramón Areces, Madrid, pp. 49-60.
- Parés, J.M., Pérez-González, A., 1999. *Magneto-chronology and stratigraphy at Gran Dolina section, Atapuerca (Burgos, Spain)*. *Journal of Human Evolution* 37 (3-4), 325-342.
- Pérez-González, A., Alexandre, T., Pinilla, A., Gallardo, J., Benayas, J., Martínez, M.J., Ortega, A.I., 1995. An approach to the Galería stratigraphy in the Sierra de Atapuerca trench (Burgos). In : Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L., Carbonell, E. (Eds.), *Human Evolution in Europe and the Atapuerca Evidence*, Valladolid, Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo, pp. 99-122.
- Pérez-González, A., Parés, J.M., Gallardo, J., Alexandre, T., Ortega, A.I., Pinilla, A., 1999. *Geología y estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos)*. In : Carbonell, E., Rosas, A., Díez, J.C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, Valladolid, pp. 31-42.
- Pineda, A., Arce, J.M., 1997. *Mapa geológico de España a escala 1/50 000 (Burgos, 200)*, I.T.G.E., Madrid.
- Rosas, A., Carbonell, E., Cuenca, G., García, N., Fernández Jalvo, Y., van der Made, J., Ollé, A., Parés, J.M., Pérez-González, A., Sánchez Marco, A., Sánchez Chillón, B., Vallverdú, J., 1998. *Cronología, bioestratigrafía y paleoecología del Pleistoceno Medio de Galería (Sierra de Atapuerca, España)*, [Chronology, biostratigraphy and paleoecology of the Middle Pleistocene from Galería (Sierra de Atapuerca, Spain)]. *Revista Española de Paleontología* 13 (1) 71-80.
- Rosas, A., Carbonell, E., Ollé, A., Pérez-González, A., Vallverdú, J., Huguet, R., Cáceres, I., Rosell, J., Sala, R., Mosquera, M., van der Made, J., Sánchez, A., Cuenca, G., Rodríguez, X.P., Rodríguez, J., 1999. *Contribución del yacimiento de Galería (Sierra de Atapuerca) al Cuaternario Ibérico*. In : Carbonell, E., Rosas, A., Díez Fernández-Lomana, J.C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, Valladolid, pp. 377-390.
- Sampayo, P., Zuaznávar, M., 1981. *Descripción con planos de la Cueva llamada de Atapuerca*. *Kaite, Estudios de Espeleología Burgalesa* 2, 9-40 (édition facsimilée de la publication originale en 1868).
- Torres, T., 1976. *El karst de la Sierra de Atapuerca (Burgos)*. *Cuadernos de Arqueología de Deusto* 1, 13-15.
- Vallverdú, J., 1996. *Microfacies des groupes de remplissage II et III de Trinchera Galería (Sierra de Atapuerca, Espagne)*. *Actes du XIII Congress Forli-Italia* 6, II, pp. 1247-1253.
- Vallverdú, P., 1999. *Microfacies y Micromorfología de GII y GIII de Trinchera Galería*. In : Carbonell, E., Rosas, A., Díez, C. (Eds.), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Valladolid, Junta de Castilla y León, pp. 43-55.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hoyos, M., 1983. *Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca (Burgos)*. *Estudios Geológicos* 39, 179-185.
- Zazo, C., Goy, J.L., Hoyos, M., 1987. *Contexto geológico y geomorfológico*. In : Aguirre, E., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M. (Eds.), *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca, Valladolid, Junta de Castilla y León*, pp. 41-46.